

У роботі для дослідження кристалізації сплаву Al+8,2%Si використовували імітаційну модель кристалізації, в основу якої покладено поєднання математичних методів моделювання та імовірного клітинного автомата. В процесі обчислювального експерименту визначали вплив швидкості охолодження на кількість утворених центрів кристалізації, а також фіксували процес формування структури сплаву на різних етапах кристалізації. Коефіцієнти тепловіддачі з усіх сторін вибирали однаковими і вони мали значення: 5; 10; 20; 50; 100, 150 та 200 Дж·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>. При цих параметрах швидкість охолодження, яка розраховувалася за модельованою кривою охолодження, набувала значення: 0,167; 0,333; 0,667; 1,667; 3,333; 5,000 та 6,667 град·с<sup>-1</sup>. Модифікатор або був відсутній, або враховувалась його наявність в кількості 0,1%; 0,3% та 0,5%. Результати моделювання показують, що спочатку формуються зерна твердого розчину, розмір яких залежить від швидкості охолодження. Потім в центральній частині формується евтектика, яка являє собою зону невеликих за розміром зерен. Збільшення швидкості охолодження призводить до зменшення розмірів зерен твердого розчину і практично не змінює розмір евтектичних складових.

На початковому етапі кристалізації спостерігається певний стрибок у кількості зародків твердої фази  $N$ , який відповідає формуванню твердого розчину. Потім через деякий час  $t$  центри кристалізації починають знову утворюватись і цей процес продовжується практично до кінця твердіння. Такий характер залежності  $N = f_1(t)$  відповідає стадії формування евтектики. Два етапи утворення центрів кристалізації добре видно на графіку залежності швидкості утворення центрів кристалізації від часу  $\frac{dN}{dt} = f_2(t)$ . Результати розрахунків швидкості утворення центрів кристалізації показали, що першому етапу кристалізації відповідає перший пік. Другий етап починається з моменту утворення евтектики і продовжується до закінчення кристалізації. Причому швидкість  $\frac{dN}{dt}$  має не монотонний характер.

Показано, що всі зародки з'являються за короткий інтервал часу (декілька секунд). Такий стрибок при появі центрів кристалізації свідчить, що процес стає нестійким в момент початку кристалізації навіть при низькій швидкості охолодження, а ця часова точка є точкою біфуркації, тобто точкою втрати сталості. Зміна швидкості охолодження не викликала зміну вигляду кривих  $N = f_1(t)$  та  $\frac{dN}{dt} = f_2(t)$ , а змінювались лише кількісні величини.

Таким чином обчислювальний експеримент з імітаційною моделлю кристалізації дозволяє отримувати інформацію стосовно гомогенного утворення центрів кристалізації при різних швидкостях охолодження, тобто при нерівноважних умовах. Змодельовані структури сплаву Al+8.2%Si, які отримані при різних умовах кристалізації з задовільною точністю співпадають з експериментальними. Показано, що варіювання швидкістю охолодження приводить до відповідних змін основних параметрів кристалізації та структури твердого металу.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ЗІ СТРУКТУРНО-ЧУТЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

### RESEARCH OF TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS COMPOSITE COVERINGS FROM STRUCTURAL AND SENSITIVE PROPERTIES

Віктор Дубовик<sup>1</sup>, Андрій Коваль<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кіровоградський національний технічний університет,  
пр. Університетський, 8, м. Кіровоград, 25006, Україна;

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

*The basic principles of non-stoichiometric composition of composite coatings in terms structure-energy theory friction. Based on these results, dependences of the wear study covers the sliding velocity in the limit without lubrication and lubricant.*

Сучасні вимоги до підвищення ККД механізмів, інтенсифікації робочих процесів, зменшення маси призвело до того, що традиційні методи підвищення зносостійкості деталей шляхом підвищення їх твердості в багатьох випадках перестали себе виправдовувати. Тому актуальним є дослідження композиційних матеріалів і покриттів із структурно-чутливими властивостями, що дозволяє таким термодинамічно відкритим системам підвищувати працездатність сполучень деталей за рахунок процесів самоорганізації при терті і зношуванні.

У роботі розглянуто основні принципи формування композиційних покриттів нестехіометричного складу з точки зору структурно-енергетичної теорії тертя. Показано, що одним з перспективних напрямів є створення композиційних матеріалів і покриттів з наявністю катіонів із змінною валентністю. Такий підхід дозволяє керувати фазовим складом і кристало-хімічними перетвореннями в умовах експлуатації.

Обґрунтовано вибір компонентів для утворення покриттів із заданими властивостями, що забезпечують фазову однорідність і потрібну нестехіометрію. При цьому враховуються властивості матеріалів, середовища і технологій синтезу покриття, що сприяє стійкому прояву процесу структурної чутливості при навантаженні тертям.

На основі отриманих результатів побудовані залежності інтенсивності зношування досліджуваних покриттів від швидкості ковзання в умовах граничного навантаження і без змащувального матеріалу.

Застосування композиційних матеріалів і покриттів із структурно-чутливими властивостями в трибосистемах дозволяє в умовах експлуатації керувати фазовим складом та, як наслідок, фізико-механічними властивостями матеріалів. Це підвищує працездатність сполучень і створює передумови триботехнічного відновлення поверхневих шарів деталей машин та механізмів.

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНОГО ЦЕОЛІТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛКІДНИХ ПОКРИТТІВ

### MODIFIED ZEOLITE APPLICATION FOR IMPROVING PROTECTIVE PROPERTIES OF ALKYD COATINGS

Ярослав Зінь, Ольга Хлопик, Іван Зінь

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна, e-mail: [zin@ipm.lviv.ua](mailto:zin@ipm.lviv.ua)

*It was established, that natural and modified zeolites inhibit mild steel corrosion in acid rain solution. The zeolite modified by Ca ions has highest inhibiting efficiency. Addition of Ca-zeolite to alkyd coatings significantly increases their corrosion resistance. Synergistic protective effect has been revealed in case of joint use of modified zeolite and zinc phosphate pigment in alkyd coatings on mild steel.*

Цеоліти – мінерали з групи водних алюмосилікатів лужних і лужноземельних металів з тетраедричним структурним каркасом, що включає нанорозмірні порожнини, зайняті катіонами й молекулами води. Вони здатні до іонного обміну з катіонами робочого середовища, що може бути важливим з погляду одержання на їх основі високоефективних інгібувальних пігментів для лакофарбових покриттів. Метою роботи було одержання антикорозійних пігментів на основі цеоліту та вивчення їх захисної дії в алкідних лакофарбових покриттях на сталі.

Вихідною речовиною для одержання антикорозійних пігментів був природний цеоліт клиноптилолітового типу. Його модифікували методом іонного обміну в розчині хлориду кальцію. Модифікований продукт містив 4,2 ваг. % кальцію. Алкідні покриття на основі лаку ПФ-170 наносили в два шари на пластини з маловуглецевої сталі Ст 3 та сушили за кімнатної температури протягом 7 днів. Перший ґрунтувальний шар алкідного покриття містив цеолітні наповнювачі. Загальна товщина покриттів становила 120-130 мкм. Захисні властивості покриттів досліджували методом електрохімічної імпедансної спектроскопії. Для обробки одержаних експериментальних імпедансних залежностей застосовували програму EIS Spectrum Analyser. Досліджували суцільні покриття та з наскрізними штучними дефектами  $\varnothing$  1 мм. Корозійним середовищем слугував розчин синтетичного кислого дощу з pH ~ 4,5. Інгібувальні властивості цеолітних пігментів також вивчали